Cosmologie et géodynamique interne.

1. Cosmologie

Système solaire est une communauté ordonnée comportent les étoiles, 8 planètes (pluton n'est plus considéré comme une planète depuis 2006), une centaine de milliers des satellites, astroïde (comme un astre).

- Généralité :

Système solaire est âgé de plus de 4.5 milliards années. Le système solaire possède une seule étoile en son centre: le Soleil. Une énorme boule de feu qui brûle de l'hydrogène à l'aide d'une réaction nucléaire. (Il existe des systèmes qui possèdent plusieurs étoiles comme les systèmes binaires, et ces étoiles peuvent brûler de l'hélium, de l'oxygène ou du carbone)

Caractéristiques	Valeurs
Masse (kg)	$1,989\ 10^{30}$
Masse (Terre = 1)	332 946
Rayon équatorial (km)	696 000
Rayon équatorial (Terre = 1)	109,12
densité moyenne (g/cm^3)	1,410
Période de rotation (en jours) au pôle en surface : à l'équateur en surface : à l'intérieur partout :	 36 25 27
Vitesse de libération (km/sec)	618
Luminosité (ergs/sec)	$3,827\ 10^{33}$
Magnitude (V)	-26,8
Température à la surface	5800 K
Age (milliards d'années)	4,5

Composition :	
Hydrogène	92,1%
Hélium	7,8%
Oxygène	0,061%
Carbone	0,030%
Azote	0,0084%
Néon	0,0076%
Fer	0,0037%
Silicium	0,0031%
Magnésium	0,0024%
Soufre	0,0015%
Tous les autres composants	0,0015%

- Structure

Le Soleil est une sphère de rayon d'environ 696.000 km. Sa température de surface est de 5.800°K; elle augmente jusqu'à 15.000.000 °K au centre. Il accomplit une rotation complète en 25 jours à l'équateur et 36 jours aux pôles. Ce phénomène, appelé "rotation différentielle" est dû au fait que le Soleil n'est pas un corps solide comme la Terre. Par contre, le noyau du Soleil tourne comme un corps solide. Le Soleil est actuellement constitué de 75% d'hydrogène et 25% d'hélium en masse. Le reste ("Métaux") compte pour environ 0.1%. Cette composition change lentement alors que le Soleil transforme l'hydrogène en hélium à l'intérieur de son noyau.

Le Soleil émet des ondes radio, des rayons X, des particules énergétiques, une quantité importante de neutrinos, en plus de la lumière visible. La production d'énergie du Soleil (386 milliards de milliards de mégawatts) est produite par la fusion nucléaire. L'étoile Soleil est constituée de plusieurs couches de gaz ayant chacune des propriétés thermodynamiques particulières (fig.4). De l'intérieur vers l'extérieur on distingue :

Le noyau solaire :

- épaisseur moyenne environ 25% le rayon solaire.
- température approximative de15 Millions de °K.
- 40% de la masse du Soleil et sa densité =160.
- sous de très hautes pressions et de température, l'hydrogène est transformé en hélium.
- émission d'une quantité très importante de neutrinos.

La zone radiative :

- **épaisseur moyenne environ 60% le rayon solaire.**
- **température varie entre 1 et 7 millions °K.**

La zone convective :

- **épaisseur moyenne = 100.000 km.**
- **température = 15.000 à 1 million °K. Elle est animée par des mouvements de convection qui sont à l'origine du transfert de l'énergie (sous forme de chaleur) de l'intérieur vers l'extérieur.**

La photosphère

- **aspect granuleux.**
- **constituée de 75% d'hydrogène, 24% d'hélium et1% d'autres éléments que l'on trouve dans l'univers.**
- **épaisseur = 500 km.**
- **température = 6.000 °K environ.**

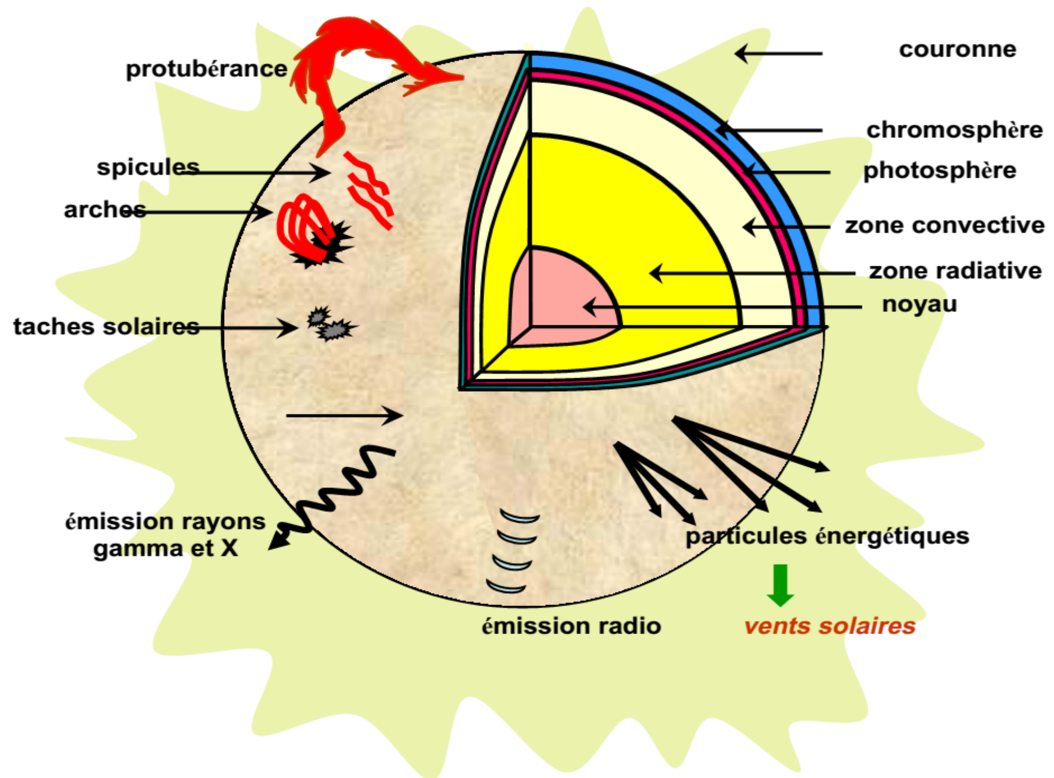
La chromosphère :

- **c'est une configuration semi- transparente de gaz.**
- **épaisseur comprise = 1.500 à 3.000 km.**
- **Température environ = 4.500 °K.**

La couronne

- **constitue l'atmosphère externe du Soleil.**
- **température environ = 1 Millions de °K.**
- **visible seulement lors d'éclipses totales de Soleil.**
- **pas de limite précise.**
- **le flux de matière chaude qui s'en échappe continuellement est à l'origine du vent solaire.**

fig.4 : Organisation du Soleil



Les planètes

Nom de la planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton (*)
Nombre de satellites	0	0	1	2	65	62	27	13	3
Demi-grand axe en unités astronomiques	0,3870983	0,7233298	1,0000010	1,5236793	5,202603	9,554909	19,21845	30,11039	39,54470
Demi-grand axe en millions de km	57,909083	108,2086	149,5980	227,9392	778,2983	1429,394	2875,039	4504,450	5915,803
Excentricité de l'orbite	0,20563	0,00677	0,01671	0,09340	0,04850	0,05555	0,04638	0,00946	0,2490
Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique	7°,0050	3°,3947	0°	1°,8497	1°,3033	2°,4889	0,°7732	1°,7700	17°,1422
Inclinaison de l'équateur sur l'écliptique	0,01°	177,36°	23,44°	25,19°	3,13°	26,73°	97,86°	28,31°	122,52°
Période de révolution sidérale	87,9693 jr	224,701 jr	365,256 jr	1 an et 321,730 jr	11 ans et 314,84 jr	29 ans et 166,98 jr	84 ans et 7,48 jr	164 ans et 281,3 jr	247 ans et 362 jr
Période de rotation	58,65 jr	243,02 jr	23,935 h	24,62 h	9,92 h	10,66 h	17,24 h	16,11 h	6,39 jr
Diamètre apparent équatorial maximal	13,0"	65,4"		25,7"	50,1"	20,8"	4,1"	2,11"	0,1"
Diamètre équatorial (Terre=1)	0,3825	0,9488	1	0,5326	11,2089	9,4335	4,0073	3,8826	0,1874
Diamètre équatorial en km	4879,4	12103,6	12756,28	6794	142 984	120 536	51 118	49 528	2390
Aplatissement	0	0	1/298,257	1/154	1/15,4	1/10,2	1/44	1/59	0
Volume (Terre=1)	0,056	0,85	1	0,15	1317	757	62,9	57,5	0,007
Masse (Soleil=1)	1/6023600	1/408523,71	1/332946,05	1/3098708	1/1047,5654	1/3498,77	1/22905,35	1/19416,3	$1,56.10^{-8}$
Masse (Terre=1)	0,055	0,815	1	0,107	317,83	95,16	14,54	17,15	0,0021
Masse (kg)	$3,3018.10^{23}$	$4,8685.10^{24}$	$5,9736.10^{24}$	$6,4185.10^{23}$	$1,8986.10^{27}$	$5,6846.10^{26}$	$8,6831.10^{25}$	$1,0243.10^{26}$	$1,238.10^{22}$
Masse (kg) planète+satellites	$3,3018.10^{23}$	$4,8685.10^{24}$	$6,0471.10^{24}$	$6,4185.10^{23}$	$1,899.10^{27}$	$5,686.10^{26}$	$8,684.10^{25}$	$1,0246.10^{26}$	$1,432.10^{22}$
Densité (Terre=1)	0,984	0,95	1	0,71	0,24	0,125	0,23	0,30	0,31
Densité (Eau=1)	5,43	5,24	5,515	3,93	1,33	0,69	1,27	1,64	1,73

Chapitre 1 : Les galaxies

Une galaxie est une entité de base de l'Univers ; elle est constituée de milliards d'étoiles, de gaz, de poussières et de matière noire, contenant parfois un trou noir super massif en son centre, et de poussière interstellaire. L'ensemble est animé d'un mouvement de rotation.

La dimension de galaxie varie de quelques dizaines à quelque centaines de milliers de parsec.

- Les types des galaxies

On a deux types des galaxies :

a) - Les galaxies elliptiques: sont la forme d'ellipsoïdes plus ou moins aplatis, avec une répartition d'étoiles augmentant vers le centre, mais ne montre aucune structure fine. Elles présentent une symétrie de rotation complète. Suivant leur ellipticité, on les qualifie d'E0 (les plus sphériques), E1, E2, ..., ou E7 (les plus aplaties).

b) - Les galaxies spirales ont une forme aplatie, la plupart des étoiles brillantes étant concentrées dans un disque peu épais, et suivant des bras que dessinent des spirales à partir de la région centrale. Au niveau du bulbe des galaxies spirales se trouve une grande concentration d'étoiles.

Les galaxies spirales se divisent elles-mêmes en deux branches :

- les spirales normales (S), dans lesquelles les bras partent directement du bulbe, et
- les spirales barrées (SB), dont les bras se détachent à l'extrémité d'une « barre » traversant le bulbe.

Les galaxies spirales, normales ou barrées, se différencient entre elles par l'importance relative de leur bulbe et de leurs bras et par l'ouverture de ces bras. On distingue :

- les Sa et SBa, au bulbe important et dont les bras s'enroulent de façon serrée autour du bulbe,
- les Sc. et SBc, au bulbe ténu et aux bras très ouverts,
- les Sb et SBb, aux propriétés intermédiaires.

✓ Les étoiles

Une étoile est un objet céleste en rotation, de forme approximativement sphérique, car la rotation entraine un aplatissement aux pôles, et dont la structure est modelée par la gravité. Lors de sa formation, une étoile est essentiellement composée d'hydrogène et d'hélium. Durant la majeure partie de son existence, son cœur est le siège de réactions de fusion nucléaire, dont une partie de l'énergie est rayonnée sous forme de lumière; La matière qui la compose s'en trouve presque complètement ionisée du fait de la température élevée qui règne en son centre.

L'histoire d'une étoile est entièrement déterminée par sa masse M et sa composition chimique X, Y, Z (théorème de Vogt et Russell). M détermine sa durée d'existence, et conditionne sa fin. L'évolution d'une étoile passe par plusieurs phases, la première est la phase naine ou séquence principale, le second est la phase géante puis supergéante pour terminer par la phase finale telle une supernova ou une nébuleuse planétaire.

❖ Les périodes de la vie d'une étoile :

- ➢ Séquence principale : ce sont des étoiles qui viennent de ce formé.
- ➢ Les géantes rouge : Plus une étoile est massive, plus elle consomme rapidement son hydrogène. Une grosse étoile sera donc très brillante, mais aura une courte durée de vie. Lorsque le combustible nucléaire se fait trop rare dans le noyau de l'étoile, les réactions de fusion s'arrêtent. La pression créée par ces réactions ne compensant plus les forces de gravitation, l'étoile s'effondre sur elle-même. Plus une étoile est grosse, plus la fin de son existence sera cataclysmique, pouvant aller jusqu'à prendre la forme d'une gigantesque explosion (supernova) suivi de la formation d'une étoile à neutrons (pulsar, magnéto, etc.) voire dans les cas extrêmes (selon la masse de l'étoile) d'un trou noir.

Couleur et luminosité des étoiles :

Les étoiles ne sont pas toutes de la même couleur. Si l'on regarde le ciel de plus près on se rend compte que certaines d'entre-elles sont rouges, d'autres sont bleues, d'autres sont jaunes, blanches...Cette différence de couleur provient essentiellement d'une différence de température superficielle des étoiles. Ces dernières ne montrent pas également la même luminosité.

Il existe une relation entre la luminosité, la couleur et la température.

Viole	Plus de 20000°k
Bleu	Entre 15000°k et 20000°k
Blanc	Entre 10000°k et 15000°k
Jaune	Entre 5000°k et 10000°k
L'orange	Entre 5000°k et 2500°k
Rouge	Moins de 2500°k

Chapitre 2 : L'univers

A. L'Origine de l'univers :

Il y a environ 15 milliards d'années l'Univers est né dans des circonstances inconnues, car les lois physiques qui régissent notre Univers ne semblent pas pouvoir s'y appliquer. La conception traditionnelle de "Grosse Explosion" dite big bang suggère que le cosmos résulte d'un point de densité infinie où toutes les lois connues de l'espace et du temps n'ont pas eu lieu.

Le big bang marque l'instant zéro de l'Univers qui, à son origine, n'a rien en commun avec celui que nous connaissons : la densité de matière et la température sont infinies.

Alors la théorie qui modélise, le mieux pour l'instant, l'histoire de l'univers est donc connue sous le nom « BIG BANG ». Elle stipule que l'univers est en expansion et que cette expansion débuta par une fulgurante explosion où l'énergie se transforma en matière. Cette explosion aurait provoqué la formation des quarks. Des nucléons, puis des noyaux puis des atomes.

A ce premier stade, seuls les deux éléments chimiques Hydrogènes et Hélium auraient été formés. Ils constituent encore actuellement la quasi-totalité de la masse de l'univers (90% H et 9% He).

a) Les arguments disponibles

L'univers est en expansion, il crée son propre espace et la meilleure preuve de ce phénomène est la fuite des galaxies.

LA FUITE DES GALAXIES : Si on regarde le ciel la nuit, on l'impression que l'univers est immobile. Mais en réalité, les galaxies ainsi que les étoiles se déplacent, les unes par rapport aux autres. Plusieurs astronomes et astrophysiciens ont monté que presque toutes les galaxies s'éloignent de nous (contre-exemple : Mais il existe des galaxies qui se rapproche de nous, Tel : Andromède). Ils ont pu vérifier que cette expansion se faisait dans toutes les directions de l'espace, de façon isotrope. Pour certaines galaxies cette vitesse de fuite ou de récession peut atteindre 60000 KM/s, soit 20% de la vitesse de lumière.

Ainsi de là est née l'image d'un univers en expansion qui, dans le passé, a dû être plus condensé.

LE RAYONNEMENT FOSSILE (à 2.7°k) : Un second argument en faveur de l'expansion de l'univers, celui de l'existence d'un rayonnement datant de l'explosion initiale, qui serait donc fossile. Cette lumière est froide et sa température de radiation est de 2.7°k pour une longueur d'onde d'environ 3mm.

B. <u>LES DIMENSIONS ET L'AGE DE L'UNIVERS</u>

Les mesures actuelles sont en faveur d'un univers infini mais la discussion persiste car il est difficile d'évaluer correctement la masse de l'univers (l'un des paramètres important pour faire les calculs).

En ce qui concerne l'âge de l'univers, l'astronomie dispose de 3 méthodes pour faire calculs. Elles sont indépendantes les unes des autres et donnent à peu près le même âge.

- ☝ **-LA FUITE DES GALAXIES** : 15 à 20 Milliards d'année (en relation avec la vitesse de récession et la distance par rapport la voie l'acté ainsi on réalise le chemin inverse jusqu'à superposition
- ✌ -**L'AGE DE PLUS VEILLES ETOILES** : 14 à 16 Milliards d'année. (d'après leur taille et leur luminosité)
- 👌 **-L'AGE DES PLUS VIEUX ATOMES** : Les isotopes radioactifs de certains éléments fournissent des indicateurs sur l'âge de l'univers.

$^{233}U et$ ^{238}U= 1 à 6.5 Milliards d'années.

Thorium : ^{238}Th= 20 Milliards d'années.

Samarium : ^{132}Sm= 60 Milliards d'années.

L'utilisation conjointe de ces différents éléments donne un âge de : 15 à 17 Milliards d'années.

Chapitre3 : Les planètes

Contrairement aux étoiles, les planètes n'émettent pas de lumière ; elles sont éclairées par le Soleil et renvoient sa lumière. On peut distinguer deux types de planètes dans le système solaire :

Les planètes Telluriques qui sont les quatre planètes les plus près du Soleil : Mercure, Vénus, Terre et Mars. Elles sont appelées Telluriques parce qu'elles ont une surface compacte et rocailleuse comme celle de la Terre. Les 3 dernières ont des atmosphères importantes tandis que Mercure n'en a pratiquement pas.

Les planètes Joviennes sont gigantesques comparées à la Terre et parce qu'elles sont d'une nature gazeuse comme Jupiter. Elles sont aussi appelées les géantes gazeuses, bien que certaines d'entre elles, ou toutes, devraient avoir de petits noyaux solides. Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune.

La distance approximative entre les planètes et le Soleil ainsi que d'autres informations statistiques sur ces planètes sont résumées dans le tableau ci-après :

	Distance (AU) Par rapport à la Terre	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclin_orbi / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm³)
Soleil	**0**	**696.000**	**332.800**		**25-36**	**9**	**---**	**---**	**---**	**1,41**
Mercure	**0,39**	**2.962**	**0,05**	**87**	**58,7 j**	**0**	**7°**	**0,3°**	**0,21**	**5,43**
Vénus	**0,72**	**6.051**	**0,89**	**224**	**243 j**	**0**	**3,39°**	**3°**	**0,01**	**5,25**
Terre	**1,0**	**6.378**	**1,00**	**365**	**24 h**	**1**	**0,00**	**23°**	**0,02**	**5,52**
Mars	**1,5**	**3.392**	**1,07**	**686**	**24,6h**	**2**	**1,85°**	**25°**	**0,09**	**3,95**
Jupiter	**5,2**	**71.492**	**318**	**4.332**	**9,8 h**	**16**	**1,31°**	**3°**	**0,05**	**1,33**
Saturne	**9,5**	**60.268**	**95**	**10.759**	**10,6 h**	**18**	**2,49**	**27°**	**0,06**	**0,69**
Uranus	**19,2**	**25.559**	**15**	**30.685**	**17,2 h**	**15**	**0,77**	**98°**	**0,05**	**1,29**
Neptune	**30,1**	**24.764**	**17**	**60.190**	**16,1 h**	**8**	**1,77**	**30°**	**0,01**	**1,64**

LES PLANETES NAINES

Sont des corps solides et se répartissent en deux catégories :

- celles qui sont plus près du Soleil comme Cérès qui était classé jusqu'ici comme astéroïde et qui devient une planète naine et puis il a y Pluton et Charon. Récemment (16/08/2008) les astronomes suggèrent que Charon, au lieu d'être un satellite de Pluton, forme avec lui une planète naine double.

Pluton et Charon formant un système binaire orbitent tous les deux autour d'un point situé dans l'espace.

- d'autres qui sont au-delà de Pluton, issus de dans la ceinture de Kuiper dont le nombre reste à déterminer. On en connait, Eris (entre 2.400 à 3.000 km) et makémaké (27%plus massive que pluton).

La distance approximative entre les planètes naines et le Soleil ainsi que d'autres informations statistiques sur ces planètes sont résumées dans le tableau ci-après :

	Distance (AU) Par rapport à la Terre	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclin_orbi / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm³)
Soleil	**0**	**696.000**	**332.800**		**25-36**	**9**	**---**	**---**	**---**	**1,41**
Terre	**1,0**	**6.378**	**1,00**	**365**	**24 h**	**1**	**0,00**	**23°**	**0,02**	**5,52**
Cérès	**2,76**	**450**	**0,0002**	**21.681j**	**9 h**	**0**	**10,58°**	**10,6°**	**0,08**	**2,12**
Pluton	**39,5**	**1.142**	**0,002**	**90.800j**	**6,4 j**	**0**	**17,15°**	**120°**	**0,25**	**2,03**
Charon	**39-49**	**603**	**0,00013**	**586x365j**	**6 j**	**2**	**98°**	**17°**	**0,38**	**1,71**
MakeMake	**45**	**900**	**?**	**30.685j**	**?**	**?**	**?**	**?**	**0,15**	**?**
Eris	**97**	**1.200**	**0,054**	**203450j**	**8 h**	**1**	**45°**	**?**	**0,44**	**2**

LES PETITS CORPS DU SYSTEME SOLAIRE

Voici brièvement les principales autres composantes du système solaire :

1. - Les Satellites

Les satellites planétaires gravitent autour des planètes. On connaît au moins 60 satellites dans le système solaire. Leurs diamètres varient de 5300 km à 30 km. Ils sont constitués en général d'un mélange de roches et de glaces. Il y a deux planètes qui n'ont pas de satellites, Mercure et Vénus, tandis que les planètes Jupiter, Saturne et Uranus en possèdent plus qu'une dizaine chacune.

Sauf la Lune et quelques satellites de la planète Jupiter, les densités des satellites sont en général inférieures à 2. La plupart des satellites montrent d'abondants cratères d'impacts. Seule la lune Io de la planète Jupiter possède des volcans actifs comme on en observe sur la Terre.

2. - Les Astéroïdes

Les astéroïdes sont des corps rocheux de quelques km à 1000 km de diamètre. Ils se localisent entre les orbites des planètes Mars et Jupiter dans une région que l'on appelle ceinture d'astéroïdes. Il existe plus de 4000 astéroïdes numérotés, mais leur masse totale n'est que 5% de celle de la Terre. Les densités des astéroïdes varient de 1,6 à 2,5.

3. - Les Comètes

Les comètes sont des astres constitués de glaces et de poussiers, de forme irrégulière, tout comme les astéroïdes. Leur taille est comprise entre 1 et 40 km. Elles ont des orbites non-elliptiques autour du Soleil, en dehors de l'écliptique. Leur masse dépasse de 50 fois celle de la Terre. A cause du chauffage par la radiation solaire, la comète émet des quantités importantes de gaz et produit une queue spectaculaire.

Zouhair El ALLALI

Leur origine serait la ceinture de Kuiper et//ou le nuage d'Oort. Leur révolution autour du soleil peut durer 76 ans (comète de Halley) jusqu'à 2.400 ans (comète de Hall - Bopp).

4. - Les Météorites

Les météoroïdesre présentent des fragments de débris provenant des astéroïdes ou de comètes qui entrent dans l'atmosphère de la Terre.

Les fragments des grands météorites qui tombent sur la surface terrestre sont appelés météorites. Elles représentent donc des échantillons de matière extraterrestre.

Chaque jour, environ 1000 tonnes de météorites entrent dans l'atmosphère de la Terre dont la plupart sont consumés avant qu'ils ne puissent tomber à la surface du globe.

On classe les météorites en trois groupes sur base de l'abondance relative des métaux et des minéraux silicatés : météorites pierreuses, météorites Ferro-pierreuses et météorites métalliques.

Cette diversité est en relation avec le mode de formation des astéroïdes qui sera examiné dans la section suivante (TD pour plus de détail).